

La méthode pressiométrique

EL ANSARI Abdessamad 2GC4

EL KARBOUBI Hicham 2GC4

La méthode pressiométrique

➢ Essai pressiométrique (Norme NF P 94-110)

1. Objectif de l'essai

Cet essai a pour but de déterminer par un essai d'expansion radial d'une sonde en place, la pression limite P_L et le module pressiométrique E_M qui permettent d'évaluer :

- La contrainte de rupture sous une fondation superficielle ou une fondation profonde
- Le tassement d'une fondation superficielle

Cet essai permet également d'obtenir des informations précises sur la nature et la qualité des sols.

2. Principe de l'essai

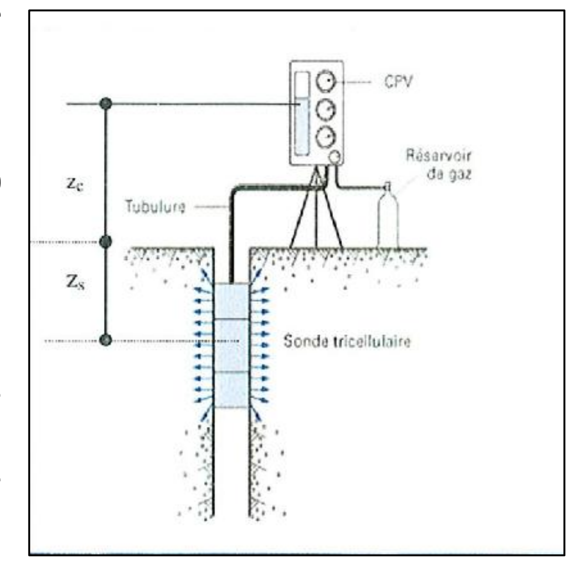
C'est au milieu des années 1950 que Louis MÉNARD, Ingénieur Civil des Ponts et Chaussées et Master of Sciences de l'Université de l'Illinois, met au point un appareil de dilatation cylindrique : Pressiomètre.

Le pressiomètre MÉNARD permet de réaliser un essai de chargement de sol en place, réalisé à l'aide d'une sonde cylindrique dilatable, laquelle est disposée au sein du terrain, dans un forage préalable.

Le pressiomètre est constitué de trois éléments principaux :

- **un contrôleur pression-volume (C.P.V) :**

Il permet d'exercer les pressions dans la sonde et de mesurer la variation correspondante de volume de celle-ci. Il comprend un réservoir de liquide à niveau visible (eau additionnée d'un peu d'antigel coloré afin d'améliorer la visibilité du ménisque) ainsi qu'un système de mise en pression (manomètres pouvant atteindre 100 bars).



- **une sonde pressiométrique :**

Cette sonde se présente sous la forme d'un unique cylindre en acier, dont la partie centrale de mesure est recouverte d'une membrane souple. Une gaine plus rigide recouvre ensuite l'ensemble de la sonde, isolant donc de part et d'autre de la cellule centrale deux petites cellules de garde.

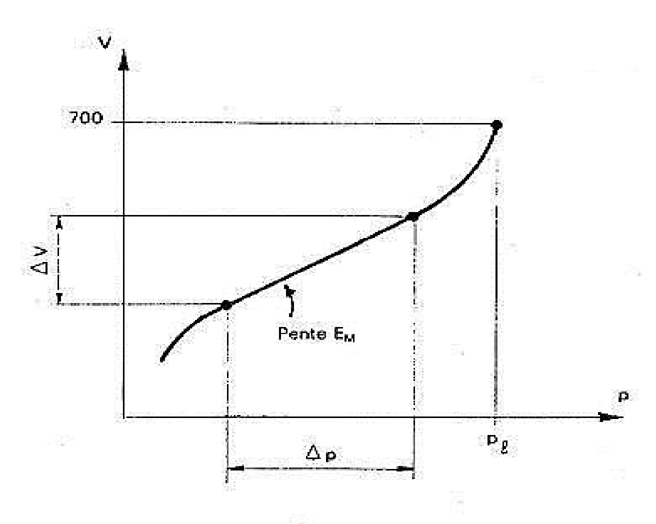
Lors de l'essai, l'opérateur met sous pression ces deux dernières grâce à un gaz comprimé, tandis que la cellule de mesure est remplie par le liquide du C.P.V.

- **une tubulure de liaison**

L'essai consiste à dilater latéralement la sonde en appliquant par paliers des pressions croissantes, et à noter les augmentations de volume de la sonde à 15s, 30s et 60s.

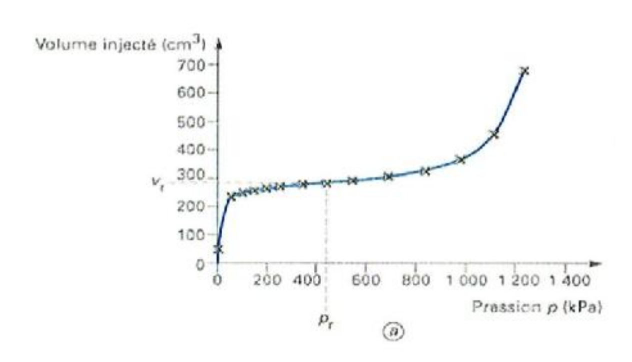
3. Résultats :

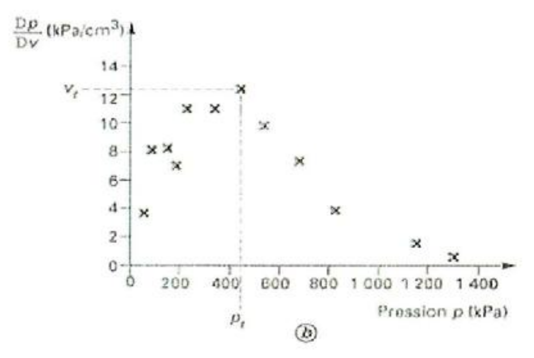
Pour une profondeur donnée, le résultat de l'essai se traduit par une courbe pressiométrique : V=f(P)



On obtient après correction la courbe pressiométrique nette qui permet de déterminer :

- le module pressiométrique E_M
- la pression limite P_L
- la pression de fluage nette P_f





Cette courbe comporte 3 parties :

- De **0** à **P_0** : une partie correspondant à l'application de la sonde sur la paroi du forage et à la reconstitution de l'état de contraintes initial qui s'est trouvé perturbé par le forage lui-même. P_0 serait donc la pression horizontale des terres au repos mais l'expérience montre que ce n'est pas tout à fait le cas. Nous dirons que P_0 est la **pression** qui s'exerce à la fin de la phase de **reconstitution.**

- <u>De P_0 à P_f</u> : une partie rectiligne correspondant à un comportement pseudo-élastique du sol. P_f est la **pression de fluage ;**
- De P_f à P_L : une partie fortement croissante présentant une asymptote verticale d'abscisse P_L représentant la **pression limite.** Théoriquement l'essai n'est valable que si la pression limite est atteinte en dix paliers égaux, ce qui en suppose la prédétermination. Dans la pratique on admet un nombre de paliers de 7 à 14, et on considère que l'essai est terminé quand le volume d'eau injecté atteint 700 à 750 cm^3.

On trace ensuite les variations de la **déformation différée ($\Delta V60$ - $\Delta V30$)** en fonction de la pression P. Elle se décompose de deux segments, le point anguleux correspondant à la pression de fluage.

En définitive, l'essai pressiométrique conduit à la détermination de deux grandeurs qui sont caractéristiques :

- La pression limite P_L (définie comme l'asymptote de la courbe pressiométrique ou déterminée par la méthode du "volume relatif"),
- le module pressiométrique standard **$E = K.\Delta P/\Delta V$**.

K : coefficient de compression de la sonde : **$K = 2(1 + \nu)\ (V_i + V_m)$**

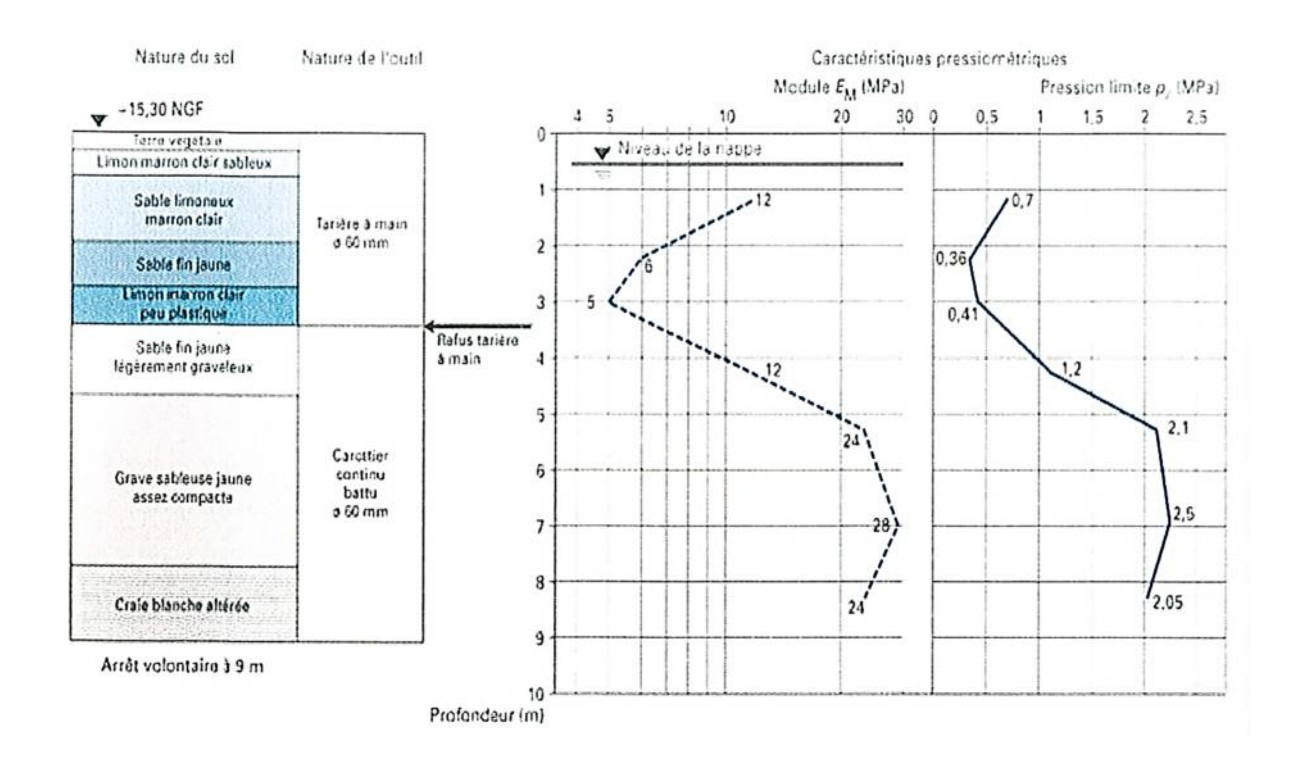
V_i : volume de la cellule centrale au repos,

V_m : volume de sol déplacé par la cellule de mesure. Il correspond au milieu de la partie linéaire de la courbe pressiométrique.

$\Delta P/\Delta V$: inverse de la pente de la partie linéaire de la courbe pressiométrique

Les valeurs du module pressiométrique E et de la pression limite Pl sont reportées sur un tableau en fonction de la profondeur. Par ailleurs, sur ce tableau figure la coupe du sondage et l'outil utilisé pour faire le forage.

L'essai est réalisé à plusieurs profondeurs pour établir un profil pressiométrique du sondage.



4. Avantages et inconvénients du pressiomètre

4.1. - Avantages

L'appareillage est relativement simple, robuste et léger. Les essais sont réalisables dans tous les types de sols à condition de bien choisir la technique de mise en place de la sonde. Cet essai permet d'aborder les problèmes de stabilité à court terme et d'évaluer valablement les tassements lorsque ceux-ci sont faibles (quelques centimètres). De plus on obtient quasi instantanément un ordre de grandeur de la pression admissible.

4.2. - Inconvénients

Pour la mise en place de la sonde, il est nécessaire de faire un forage de bonne qualité. L'essai est non ponctuel et intègre les caractéristiques du sol sur toute la hauteur de la sonde (environ 60 cm). C'est un essai rapide ne permettant pas d'aborder les problèmes de consolidation ou de stabilité à long terme.

4.3. - Domaine d'utilisation

Le pressiomètre est particulièrement bien adapté à l'étude des fondations superficielles et des fondations profondes. Il peut en outre donner une valeur approchée de la cohésion non drainée

$$C_u = \frac{P_L - P_0}{5.5}$$

- **CALCUL DE LA CAPACITE PORTANTE DES FONDATIONS A PARTIR DES METHODES PRESSIOMETRIQUES**

1-Capacité portante d'une fondation superficielle

La pression verticale de rupture d'une fondation superficielle exécutée dans un massif homogène est une fonction linéaire de la pression limite :

$$q_r = q_0 + k^* (P_L - P_0)$$

- q_0 : pression verticale des terres au repos après construction (donc compte tenu d'un remblai éventuel) au niveau de la fondation.
- P_0 : pression horizontale des terres au repos au moment de l'essai (donc calculée à partir du terrain naturel).
- k : facteur de portance.
- P_L : pression limite

Si le sol est hétérogène, cette formule devient : $q_r = q_0 + k^*(P_{LE} - P_0)$

Avec P_{LE} : pression limite équivalente

2- Calcul des différents facteurs

- ✓ q_0 : la pression verticale des terres au repos est calculée par simple sommation

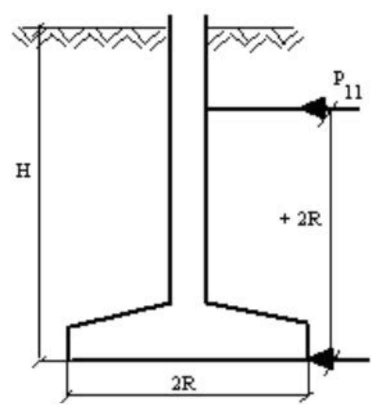
$$q_0 = \int_0^H \gamma(z).dz$$ H : hauteur d'encastrement

- ✓ Po : la pression horizontale étant difficilement évaluable à partir de l'essai pressiométrique, on prend généralement Po = $q_0/2$
- ✓ P_{LE} : la pression limite équivalente est la moyenne géométrique des pressions limites mesurées au voisinage de la base de la fondation :

$$P_{LE} = \sqrt[3]{P_{l1} * P_{l2} * P_{l3}}$$

- Si la fondation est faiblement encastrée (H < 2R), P_{L1} n'est pas prise en compte et on a :

$$P_{LE} = \sqrt[3]{P_{l2} * P_{l3}}$$



- Si la largeur de la fondation (2R) est inférieure à 1m : P_{L1} représente la pression limite à +2R de la base, P_{L2} représente la pression limite au niveau de la base, et P_{L3} représente la pression limite à -2R de la base.
- Si la largeur de la fondation est supérieure à 1 m, P_{L1}, P_{L2}, P_{L3} sont elles-mêmes les moyennes géométriques des pressions limites mesurées entre +3R et +R pour la première,-R et +R pour la deuxième et -R et -3R pour la troisième.
- k : le facteur de portance dépend de trois paramètres qui sont : la nature du sol, la profondeur d'encastrement équivalente, et la géométrie de la fondation.
- La profondeur d'encastrement équivalente est donnée par :

$$h_e = \frac{1}{P_{le}} \int_0^H P_l(z).dz$$

Dans cette formule H représente la hauteur réelle d'encastrement et $P_l(z)$ est la pression limite mesurée à chaque niveau entre 0 et H.

3- **Contrainte admissible**

Les différents facteurs ayant été déterminés, la pression de rupture est donc égal à :

$$q_r = q_0 + k (P_{Le} - P_0)$$

Compte-tenu d'un coefficient de sécurité de 3 qu'il n'y a aucune raison d'appliquer à q_0, la contrainte admissible s'exprime par :

$$q_a = q_0 + \frac{k}{3}(P_{le} - P_0)$$

➢ Calcul des tassements :

La règle de calcul du tassement est :

$S = S_c + S_d$

$$S_c = \frac{\alpha}{9E_M}(q - \sigma_{v0}).\lambda_c.B$$ Tassement sphérique

$$S_d = \frac{2}{9E_M}(q - \sigma_{v0}).B_0.(\lambda_d.\frac{B}{B_0})^{\alpha}$$ Tassement déviatorique

B_0 : 0,6 m
B : largeur de la fondation
q : composante normale de la contrainte effective moyenne appliquée au sol par la fondation.
$\pm_{v0}$: Contrainte verticale effective calculée avant travaux au niveau de la fondation
E_M : module pressiométrique
α: coefficient
λ_c et λ_d : coefficients de forme.

Les valeurs de α proposées par L. MENARD figurent au tableau suivant :

	Tourbe	Argiles		Limons		Sables		Graves	
Type	α	E_M/P_1	α	E_M/P_1	α	E_M/P_1	α	E_M/P_1	α
Surconsolidé ou très serré	–	> 16	1	2/3	> 12	1/2	> 10	1/3	
Normalement consolidé ou normalement serré	1	9 – 16	2/3	8 – 14	1/2	7 – 12	1/3	6 – 10	1/4
Sous-consolidé altéré et remanié ou lâche	–	7 – 9	1/2	5 – 8	1/2	5 – 7	1/3		–

Les valeurs de λc et λd prennent en compte le caractère tridimensionnel du calcul du tassement des semelles isolées :

L/B	Cercle	Carré	2	3	5	20
λ_C	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50
λ_d	1,00	1,12	1,53	1,78	2,14	2,65